·论著·

俯卧位通气相关面部压力性损伤危险因素分析及最佳建模方法选择

袁媛[1]，张亚荣[1]，李振刚[1]，张莉[2*]

1.830092 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市，新疆医科大学第一附属医院重症医学中心
2.830092 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市，新疆医科大学第一附属医院护理部
*通信作者：张莉，主任护师；E-mail：121449072@qq.com

【摘要】 **背景** 面部压力性损伤是俯卧位通气患者常见并发症，创面局部暴露可增加全身感染风险，影响俯卧位通气治疗效果，甚至造成局部组织永久性功能损害。探讨其危险因素并构建预测模型对于预防俯卧位通气相关面部压力性损伤具有重要临床意义。**目的** 探讨俯卧位通气相关面部压力性损伤的危险因素及其最佳建模方法。**方法** 选择2020年6月—2023年3月入住新疆医科大学第一附属医院重症医学科的159例接受俯卧位通气的患者为研究对象，根据是否发生面部压力性损伤分为压力性损伤组（*n*=22）和非压力性损伤组（*n*=137），收集患者的一般信息、疾病诊断、治疗措施、实验室检查。分别使用逐步Logistic回归模型、全变量Logistic回归模型及Lasso-Logistic回归模型筛选面部压力性损伤危险因素并建立预测模型，应用受试者工作特征曲线下面积（AUC）评价模型区分度；应用赤池信息准则（AIC）、贝叶斯信息准则（BIC）及校准曲线评价模型校准度；应用决策曲线评价模型临床应用价值。通过比较三种Logistic回归模型预测效能和临床应用差异选择最佳建模方法。**结果** 逐步Logistic回归模型结果显示，面部压力性损伤的影响因素为年龄（*OR*=39.041）、糖尿病（*OR*=7.256）和单次俯卧位通气时间（*OR*=6.705）；全变量Logistic回归模型结果显示，面部压力性损伤的影响因素为年龄（*OR*=26.882）、糖尿病（*OR*=1.770）、ICU住院时间（*OR*=2.610）和单次俯卧位通气时间（*OR*=5.340）；Lasso-Logistic回归结果显示，面部压力性损伤的影响因素为年龄（*OR*=38.256）、糖尿病（*OR*=1.094）、单次俯卧位通气时间（*OR*=5.738）和Richmond躁动镇静评分（*OR*=1.179）。Lasso-Logistic回归模型预测俯卧位通气相关面部压力性损伤的AUC、灵敏度和特异度分别为0.855、0.959和0.750，优于逐步和全变量Logistic回归模型；AIC和BIC分别为44.634和55.745，低于逐步和全变量Logistic回归模型；校准曲线显示Lasso-Logistic回归模型预测概率与实际概率拟合效果最佳。决策曲线显示Lasso-Logistic回归模型获得临床收益对应风险阈值为0.01~0.98，优于逐步和全变量Logistic回归模型。**结论** 年龄、糖尿病、单次俯卧位通气时长和Richmond躁动镇静评分是俯卧位通气相关面部压力性损伤的危险因素，Lasso-Logistic回归模型预测效能和临床应用价值优于逐步Logistic回归模型和全变量Logistic回归模型，是最佳建模方法。

【关键词】 俯卧位通气；压力性溃疡；面部损伤；危险因素；Lasso-Logistic回归模型；Logistic模型
【中图分类号】 R 473.75 R 632.1 【文献标识码】 A DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2023.0278

Risk Factors of Prone Position Ventilation-related Facial Pressure Injuries and the Selection of Best Modeling Method

YUAN Yuan[1]，*ZHANG Yarong*[1]，*LI Zhengang*[1]，*ZHANG Li*[2*]
1.Department of Critical Care Medicine，Urumqi，the First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University，Urumqi 830092，China
2.Department of Nursing，the First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University，Urumqi 830092，China
**Correspondence author：ZHANG Li，Chief superintendent nurse；E-mail：121449072@qq.com*

【Abstract】 **Background** Facial pressure injury is a common complication in patients with prone position ventilation. Local exposure of the trauma can increase the risk of systemic infection，and affect the therapeutic effect of prone position

基金项目：新疆维吾尔自治区自然科学基金资助项目（2021D01C455）
引用本文：袁媛，张亚荣，李振刚，等.俯卧位通气相关面部压力性损伤危险因素分析及最佳建模方法选择［J］.中国全科医学，2023.DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2023.0278.［www.chinagp.net］
YUAN Y，ZHANG Y R，LI Z G，et al. Risk factors of prone position ventilation-related facial pressure injuries and the selection of best modeling method［J］. Chinese General Practice，2023.
本文数字出版日期：

ventilation, and even cause permanent functional damage to local tissues. Exploring the risk factors and constructing a prediction model are of great clinical significance for the prevention of prone position ventilation related facial pressure injuries. **Objective** To investigate the risk factors for prone position ventilation-related facial pressure injuries and its optimal modeling methods. **Methods** A total of 159 patients who were admitted to the Department of Critical Care Medicine of the First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University from June 2020 to March 2023 and received prone position ventilation were selected and divided into the pressure injury group (*n*=22) and non-pressure injury group (*n*=137) according to whether facial pressure injuries occurred or not. General information, disease diagnosis, therapeutic measures, and laboratory test results were collected. Stepwise Logistic regression, multivariate Logistic regression, and Lasso-Logistic regression were used to screen risk factors for facial pressure injuries and develop predictive models, respectively. The area under receiver operating characteristic curve (AUC) was plotted to evaluate the model discrimination. The Akaike Information Criterion (AIC), Bayesian Information Criterion (BIC), and calibration curve were applied to evaluate the calibration of the model. Decision curves were applied to evaluate the clinical application value of the models. The optimal modeling method was selected by comparing the predictive efficacy and clinical application differences of the three logistic regression models. **Results** The results of stepwise Logistic regression model showed that the influencing factors of facial pressure injuries were age (*OR*=39.041), diabetes mellitus (*OR*=7.256), and duration of a single-prone ventilation session (*OR*=6.705). The results of the multivariate Logistic regression model showed that the factors influencing facial pressure injuries were age (*OR*=26.882), diabetes mellitus (*OR*=1.770), length of stay in the ICU (*OR*=2.610), and duration of a single-prone ventilation session (*OR*=5.340). The results of Lasso-Logistic regression showed that the factors influencing facial pressure injuries were age (*OR*=38.256), diabetes mellitus (*OR*=1.094), duration of single prone ventilation (*OR*=5.738), and RASS score (*OR*=1.179). The AUC, sensitivity and specificity of the Lasso-Logistic regression model for predicting prone position ventilation-related facial pressure injuries were 0.855, 0.959 and 0.750, respectively, which were better than those of the stepwise and multivariate Logistic regression models. The AIC and BIC were 44.634 and 55.745, respectively, which were lower than the stepwise and multivariate Logistic regression models. The calibration curves showed that the Lasso-Logistic regression model predicted probabilities fitted the actual probabilities best. The decision curve showed that the Lasso-Logistic regression model obtained clinical benefits corresponding to risk thresholds of 0.01 to 0.98, which was better than the stepwise and multivariate Logistic regression models. **Conclusion** Age, diabetes mellitus, length of a single prone ventilation session, and Richmond Agitation Sedation Score are risk factors for ventilation-related facial pressure injuries. The Lasso-Logistic regression model has better predictive efficacy and clinical application value than stepwise and multivariate Logistic regression models, making it the best modeling method.

【Key words】 Prone position ventilation; Pressure ulcer; Facial injuries; Risk factors; Lasso-logistic regression; Logistic models

急性呼吸窘迫综合征（acute respiratory distress syndrome，ARDS）属于急性低氧性呼吸功能不全或呼吸衰竭，其主要特征为进行性低氧血症和呼吸窘迫[1]。俯卧位通气能够充分引流肺泡内积聚的液体并通过改变胸腔内压力梯度改善氧合[2]。尽管该方法在一定程度上能够改善 ARDS 患者预后，但在俯卧位通气过程中可能出现多种并发症，影响治疗效果，甚至造成永久性功能损害[3]。俯卧位通气患者面部压力性损伤发生风险明显增加，研究显示有超过 50% 的重症监护病房（intensive care unit，ICU）患者在俯卧位通气过程中发生面部压力性损伤[4-5]。筛选俯卧位通气患者面部压力性损伤危险因素，采取针对性预防措施对于减少面部压力性损伤发生具有重要意义，但目前的压力性损伤风险评估工具对于面部压力性损伤预测效能不佳，难以应用于临床。因此，本研究拟运用最小绝对收缩和选择算子（least absolute shrinkage and selection operator，Lasso）特征选择联合 Logistic 回归模型筛选面部压力性损伤相关危险因素，比较全变量和逐步 Logistic 回归及 Lasso-Logistic 回归模型的预测效能以确定俯卧位通气患者面部压力性损伤的最佳预测模型，从预测效能及临床应用价值两方面对模型进行评价，为选择适用于俯卧位通气患者面部压力性损伤的风险评估工具提供理论及实践依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选取 2020 年 6 月—2023 年 3 月入住新疆医科大学第一附属医院重症医学科的符合纳入、排除标准的 159 患者为研究对象，经患者家属或其他法定代理人签署知情同意后纳入本研究。其中男 92 例，女 67 例；年龄为（61.4 ± 0.4）岁，中位住院时间为 13 d。

纳入标准：（1）年龄 ≥ 18 岁；（2）急性生理

和慢性健康评分（Acute Physiology and Chronic Health Evaluation Ⅱ，APACHEⅡ）评分≥8分；（3）接受俯卧位通气的患者。排除标准：（1）面部存在影响压力性损伤评估的皮肤疾患（如面部烧伤）；（2）电子病历中患者相关指标缺失。剔除标准：（1）单次俯卧位通气时间<0.5 h或俯卧位总时间<4 h。

患者在俯卧位期间均给予面部压力性损伤预防措施（面部下方放置水袋减压；受压一侧皮肤贴敷减敷料；每2 h更换头部位置等）。压力性损伤诊断以美国国家压力性损伤咨询委员会（National Pressure Ulcer Advisory Penal，NPUAP）2016年压力性损伤管理指南中的压力性损伤分级标准作为依据[6]。根据患者转科、出院或死亡时是否发生面部压力性损伤分为压力性损伤组与非压力性损伤组。本研究经新疆医科大学第一附属医院医学伦理委员会审核批准。

1.2 信息收集

研究者根据研究目的自制一般信息收集表，通过医院电子信息系统、重症监护信息系统与实验室信息系统收集患者的一般信息、疾病诊断、治疗措施、实验室检查。研究过程中由研究者与另一名研究团队成员每周对数据的真实性及准确性进行核查。其中一般信息包括患者年龄、性别、BMI；疾病诊断包括主要诊断、脓毒症和糖尿病情况；治疗措施包括总住院时间、ICU住院时间、APACHE Ⅱ、营养风险筛查2002评分（Nutrition Risk Screening 2002，NRS2002）、Braden评分、单次俯卧位时间、总俯卧位时间、平均动脉压（mean arterial pressure，MAP）、镇静情况、Richmond躁动镇静评分（richmond agitation sedation scale，RASS）、机械通气方式、营养方式、连续血液净化（continuous blood purification，CBP）、主动脉球囊反博（intra-arotic ballon pump，IABP）、去甲肾上腺素剂量；实验室检查指标包括氧合指数（PaO_2/FiO_2）、血乳酸、白蛋白、血红蛋白和静脉血葡萄糖。

1.3 统计学方法

使用SPSS 20.0和R 4.1.2软件进行统计分析。符合正态分布的计量资料用（$\bar{x}\pm s$）表示，两组间比较采用成组t检验；非正态分布计量资料用M（P_{25}，P_{75}）表示，组间比较采用Mann-Whitney检验；计数资料用相对数表示，组间比较使用χ^2检验或Fisher's精确概率法。组间比较中差异有统计学意义的因素（P>0.1）纳入全变量Logistic回归分析、逐步Logistic回归分析及Lasso-Logistic回归分析筛选危险因素（$\alpha_{入}$=0.05，$\alpha_{出}$=0.1）。使用受试者工作特征曲线下面积（the area under the receiver operation characteristic curve，AUC）、灵敏度及特异度等指标评价区分度，AUC比较使用Delong检验；采用赤池信息准则（akaike information criterion，AIC）、贝叶斯信息准则（bayesian information criterion，BIC）及校准曲线观评价校准度；采用决策曲线确定临床应用价值。

2 结果

2.1 患者一般资料

159例患者中发生面部压力性损伤22例，发生率为13.8%；其中发生在口部12例、颧部6例、下颌部4例。压力性损伤组与非压力性损伤组患者年龄、合并糖尿病比例、ICU住院时间、单次俯卧位时长、总俯卧位时长、RASS、机械通气方式、连续血液净化治疗比例、IABP治疗比例、去甲肾上腺素剂量、PaO_2/FiO_2、血乳酸比较，差异有统计学意义（P<0.1）；两组性别、BMI、主要诊断、合并脓毒症比例、总住院时间、APACHE Ⅱ、NRS2002、Braden评分、平均动脉压、镇静比例、营养方式、白蛋白、血红蛋白、静脉血葡萄糖比较，差异无统计学意义（P>0.1），见表1。

2.2 俯卧位通气相关面部压力性损伤影响因素

以是否发生面部压力性损伤（赋值：否=0，是=1）为因变量，在组间比较中差异有统计学意义的因素（P<0.1）为自变量构建Logistic回归模型，年龄、ICU住院时间、单次俯卧位时间、总俯卧位时间、RASS、去甲肾上腺素剂量、PaO_2/FiO_2、血乳酸（赋值：实测值）；糖尿病、有创机械通气、高流量鼻导管氧疗、血液净化治疗、IABP治疗（赋值：否=0，是=1）。

图1为Lasso特征选择过程，当l=0.002 443 71时筛选出4个非零系数变量，分别为年龄、糖尿病、单次俯卧位时间和RASS。分别采用逐步Logistic回归模型、全变量Logistic回归模型及Lasso-Logistic回归模型筛选面部压力性损伤的影响因素。逐步Logistic回归模型结果显示，面部压力性损伤的影响因素为年龄（OR=39.041）、糖尿病（OR=7.256）和单次俯卧位通气时间（OR=6.705）；全变量Logistic回归模型结果显示，面部压力性损伤的影响因素为年龄（OR=26.882）、糖尿病（OR=1.770）、ICU住院时间（OR=2.610）和单次俯卧位通气时间（OR=5.340）；Lasso-Logistic模型回归结果显示，面部压力性损伤的影响因素为年龄（OR=38.256）、糖尿病（OR=1.094）、单次俯卧位通气时间（OR=5.738）和RASS评分（OR=1.179），见表2。

2.3 模型预测效能和临床应用价值

2.3.1 模型预测效能 分别构建逐步Logistic回归模型：$P=1/[1+e^{-X}]$，X=-1.392+2.506×年龄+1.982×糖尿病+1.193×单次俯卧位通气时间）；全变量Logistic回归模型：$P=1/[1+e^{-X}]$，X=-1.941+1.633×年龄+0.189×糖尿病+0.248×ICU住院时间+0.609×单次俯卧位通气时间；Lasso-Logistic回归模型：

P=1/[1+e^{-X}],X=−1.099+5.021×年龄+0.146×糖尿病+1.984×单次俯卧位通气时间+0.150×RASS。比较3种Logistic回归模型的AUC、灵敏度、特异度,Delong检验显示Lasso-Logistic回归模型AUC高于逐步Logistic回归模型(*Z*=2.417,*P*=0.015)与全变量Logistic回归模型(*Z*=2.834 2,*P*=0.004);同时该模型的灵敏度、特异度均优于其他2种Logistic回归模型,说明其具有较好的区分度。图2为3种模型的校准曲

表1 两组一般资料比较

Table 1 Comparison of baseline data between the two groups

组别	例数	年龄($\bar{x}\pm s$,岁)	性别〔例(%)〕男	女	BMI($\bar{x}\pm s$,kg/m^2)	主要诊断〔例(%)〕呼吸系统疾病	循环系统疾病	中枢神经系统疾病	消化系统疾病	泌尿系统疾病	其他
压力性损伤组	22	71.3±6.1	13(59.1)	9(40.9)	23.3±1.7	15(68.2)	1(4.5)	3(13.6)	0	1(4.5)	2(9.2)
非压力性损伤组	137	60.5±9.3	79(57.7)	58(42.3)	23.1±1.8	98(71.5)	0	29(21.2)	0	2(1.5)	8(5.8)
检验统计量值		3.960^a	0.413^b		0.259^a	6.376^b					
*P*值		<0.001	0.563		0.796	0.173					

组别	脓毒症〔例(%)〕是	否	糖尿病〔例(%)〕是	否	总住院时间〔*M*(P_{25},P_{75}),d〕	ICU住院时间〔*M*(P_{25},P_{75}),d〕	APACHE Ⅱ〔*M*(P_{25},P_{75}),分〕	NRS 2002〔*M*(P_{25},P_{75}),分〕	Braden评分〔*M*(P_{25},P_{75}),分〕	单次俯卧位时间($\bar{x}\pm s$,h)
压力性损伤组	8(36.4)	14(63.6)	17(77.3)	5(22.7)	21(20,23)	16(15,17)	16(11,19)	4(4,5)	11(10,12)	13.6±2.9
非压力性损伤组	10(7.3)	127(92.7)	38(27.7)	99(72.3)	20(18,23)	13(11,15)	14(11,18)	4(4,5)	11(10,12)	6.6±2.0
检验统计量值	2.419^b		10.550^b		1.364	3.274	0.635	0.810	0.468	11.025^a
*P*值	0.139		0.001		0.173	0.001	0.526	0.418	0.681	<0.001

组别	总俯卧位时间($\bar{x}\pm s$,h)	平均动脉压($\bar{x}\pm s$,mm Hg)	镇静〔例(%)〕是	否	RASS〔*M*(P_{25},P_{75}),分〕	机械通气方式〔例(%)〕有创机械通气	无创机械通气	高流量鼻导管氧疗	营养方式〔例(%)〕肠内营养	肠外营养
压力性损伤组	71.5±4.2	66.8±7.4	22(100.0)	0	−4(−3,−4)	15(68.2)	0	7(31.8)	18(81.8)	4(18.2)
非压力性损伤组	70.9±4.2	65.9±7.2	137(100.0)	0	−2(−3,−1)	117(85.4)	0	20(14.6)	127(92.7)	10(7.3)
检验统计量值	2.932^a	0.854^a	–		−4.154	4.729^b			0.485^b	
*P*值	0.004	0.429	–		<0.001	0.030			0.486	

组别	连续血液净化治疗〔例(%)〕是	否	IABP治疗〔例(%)〕是	否	去甲肾上腺素剂量(μg·kg^{-1}·min^{-1})	PaO_2/FiO_2($\bar{x}\pm s$)	血乳酸($\bar{x}\pm s$,mmol/L)	白蛋白($\bar{x}\pm s$,g/L)	血红蛋白($\bar{x}\pm s$,g/L)	静脉血葡萄糖($\bar{x}\pm s$,mmol/L)
压力性损伤组	12(54.5)	10(45.5)	3(13.6)	19(86.4)	0.7±0.1	139.5±23.9	2.4±0.9	33.7±3.0	99.0±14.8	12.1±1.6
非压力性损伤组	25(18.3)	112(81.7)	5(3.6)	132(96.4)	0.3±0.1	212.4±21.4	2.8±0.9	33.7±2.7	104.5±14.4	13.3±2.6
检验统计量值	2.921^b		10.831^b		14.161^a	−11.248^a	−1.699^a	−1.238^a	−1.269^a	−1.647^a
*P*值	0.087		0.001		<0.001	<0.001	0.091	0.238	0.206	0.102

注:APACHE Ⅱ=急性生理和慢性健康评分,NRS2002=营养风险筛查2002评分,RASS=Richmond躁动镇静评分,IABP=主动脉球囊反搏,PaO_2/FiO_2=氧合指数;^{a}为*t*值,^{b}为χ^2值,余检验统计量值为*Z*值。

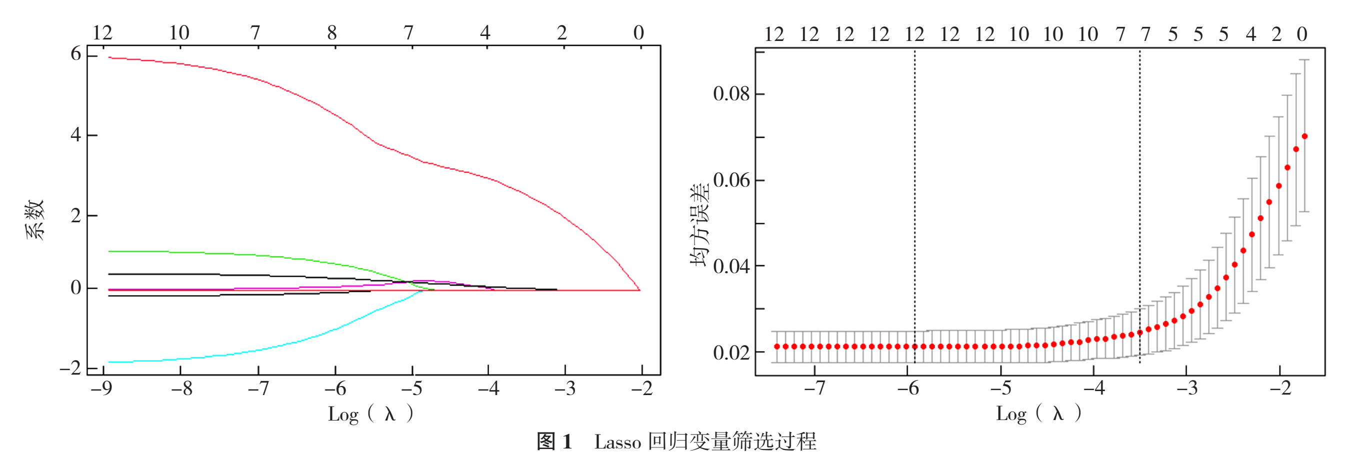


图1 Lasso回归变量筛选过程

Figure 1 Lasso-Logistic regression variable screening process

表 2 俯卧位通气相关面部压力性损伤的三种 Logistic 回归模型

Table 2 Three Logistic regression models of prone position ventilation-related facial pressure injuries

变量	逐步 Logistic 回归模型		全变量 Logistic 回归模型		Lasso-Logistic 回归模型	
	OR（95%*CI*）	*P* 值	*OR*（95%*CI*）	*P* 值	*OR*（95%*CI*）	*P* 值
年龄	39.041（8.772~73.754）	0.004	26.882（2.246~92.809）	0.005	38.256（4.728~109.551）	<0.001
糖尿病	7.256（1.873~28.104）	0.025	1.770（1.050~62.266）	0.046	1.094（1.035~11.357）	0.004
ICU 住院时间			2.610（1.194~35.184）	0.006		
单次俯卧位时间	6.705（1.503~29.904）	0.001	5.340（1.395~72.107）	0.033	5.738（1.640~51.425）	0.038
总俯卧位时间			1.152（0.721~1.840）	0.119		
RASS			0.238（0.054~1.046）	0.096	1.179（1.047~1.679）	0.031
有创机械通气			0.528（0.132~2.105）	0.539		
高流量鼻导管氧疗			1.894（0.475~7.551）	0.404		
血液净化治疗			2.480（0.142~43.242）	0.765		
IABP			4.086（0.084~98.346）	0.621		
去甲肾上腺素			1.588（0.045~7.774）	0.412		
PaO_2/FiO_2			0.997（0.603~1.081）	0.968		
血乳酸			0.999（0.975~1.064）	0.970		

线；在校准曲线中对角线是在理想状态下预测概率与实际概率完全一致的状态，不同颜色的曲线显示了模型预测的风险事件发生概率与实际发生概率的一致性，曲线与对角线越接近，表明模型预测概率与实际概率的拟合效果越好。校准曲线显示在 3 种 Logistic 回归模型中，Lasso-Logistic 回归模型预测概率与实际概率的一致性较好，而逐步 Logistic 回归模型与全变量 Logistic 回归模型预测概率与实际概率存在一定程度偏差。在 3 种 Logistic 回归模型中，Lasso-Logistic 回归模型 R^2 较大，而 AIC 和 BIC 较小，也表明该模型拟合效果最好。见表 3。

表 3 不同 Logistic 回归模型预测效能

Table 3 Predictive efficacy of different Logistic regression models

模型	区分度			校准度		
	AUC	灵敏度	特异度	AIC	BIC	R^2
逐步 Logistic 回归	0.771	0.959	0.583	46.564	64.327	0.681
全变量 Logistic 回归	0.736	0.973	0.500	51.876	67.220	0.692
Lasso-Logistic 回归	0.855	0.959	0.750	44.634	55.745	0.721

注：AUC= 受试者工作特征曲线下面积，AIC= 赤池信息准则，BIC= 贝叶斯信息准则。

2.3.2 模型临床应用价值 决策曲线显示了模型将患者均识别为压力性损伤患者、非压力性损伤的临床收益（即图 3 中的灰色斜线和黑色横线）及其模型实际临床收益；模型决策曲线与灰色斜线、黑色横线相交的部分对应风险阈值范围越大，表明模型的实际应用价值越高。逐步 Logistic 回归模型及全变量 Logistic 回归模型获得临床收益对应风险阈值分别为 0.01~0.83 和 0.01~0.85；Lasso-Logistic 回归模型获得临床收益对应风险阈值为 0.01~0.98。综合以上结果判断 Lasso-Logistic 回归模型具有较高的临床应用价值。

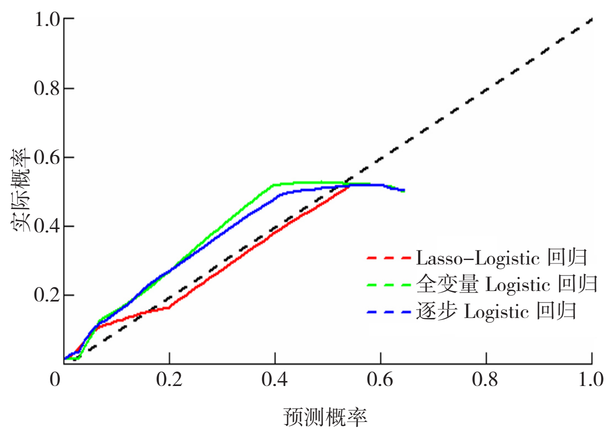


图 2 三种 Logistic 回归模型校准曲线

Figure 2 The calibration curve of three Logistic regression models

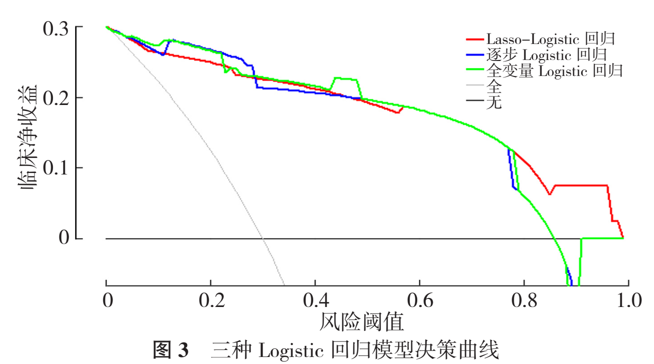


图 3 三种 Logistic 回归模型决策曲线

Figure 3 The decision curves of three Logistic regression models

3 讨论

本研究中逐步 Logistic 回归模型分析筛选了 3 种面部压力性损伤危险因素，而全变量及 Lasso-Logistic 回归模型分析分别筛选了 4 种危险因素。年龄、糖尿病、单次俯卧位通气时间在 3 种 Logistic 回归分析中均被筛

选为面部压力性损伤的危险因素。国外研究表明单次俯卧位通气时长和总俯卧位通气时长是压力性损伤最直接的危险因素[7]。俯卧位通气患者由于重力作用存在使其头面部皮肤及皮下组织水肿；同时口腔内唾液、气囊上堆积的口腔分泌物以及部分胃内容物流出，使面部皮肤长时间处于潮湿状态，消化酶和细菌互相作用，损害皮肤屏障作用，从而增加压力性损伤风险[8-10]。本研究结果显示，压力性损伤患者单次俯卧位通气时间及总俯卧位时间均明显长于非压力性损伤患者，但仅单次俯卧位通气时长与面部压力性损伤由显著关联。尽管俯卧位能够在短时间内改善患者通气/血流比，但肺泡复张和肺泡内液体引流需要较长时间，因此较长时间的俯卧位通气（>12 h 或 >16 h）才能显著改善患者结局[11-12]。在临床实践过程中，部分患者对俯卧位通气耐受性较差，难以耐受长时间俯卧位通气，对该类患者会采取分段式俯卧位通气策略（即俯卧位 2~4 h，休息 1~2 h，再俯卧位 2~4 h），分段式俯卧位通气策略使患者局部组织受压时间缩短，但总的俯卧位通气时间与连续俯卧位通气患者相当，因此在本研究中总俯卧位时间与面部压力性损伤并无显著关联。本研究发现年龄是俯卧位通气患者面部压力性损伤的重要影响因素。PACHÁ 等[13]发现与年龄≤ 40 岁的患者相比，61~80 岁的患者及 80 岁以上的患者其压力性损伤发生风险分别是其 2.6 倍〔OR=2.6，95%CI（1.2，5.6），P=0.01〕和 3.7 倍〔OR=3.7，95%CI（1.4，9.7），P<0.001〕。Meta 分析显示糖尿病患者压力性损伤发生风险明显高于非糖尿病患者[14-15]。本研究中糖尿病患者接受俯卧位通气更容易发生面部压力性损伤，但有、无压力性损伤患者间血糖水平并无显著差异，说明长时间的血糖水平升高可能会增加组织损伤风险。正常状态下局部组织受压后毛细血管扩张以增加局部组织灌注，但老年人及糖尿病患者由毛细血管介导的局部组织血流调节机制减弱，因此该类人群更容易发生压力性损伤[16]。此外，在预测效能最高的 Lasso-Logistic 回归模型中 RASS 也与面部压力性损伤风险密切相关，与 KOO 等[17]研究结论相似。中深度镇静（RASS<-3 分）有利于减少患者呼吸做工和人机对抗，使患者能够耐受较长时间的俯卧位[18]。但深度镇静时患者对疼痛等有害刺激的感知能力减弱，可能是其导致压力性损伤发生风险增加的原因[19]。

Lasso 回归最早由 1996 年 Robert Tibshirani 首次提出，是在最小二乘法的基础上，将所有变量回归系数的绝对值之和作为惩罚项，使与因变量无显著关联的自变量系数压缩为 0，从而能够筛选相关性较强的变量[20]。多项研究证实 Lasso-Logistic 回归模型筛选的变量预测效能优于逐步及全变量 Logistic 回归模型[21-25]。本研究分别使用逐步 Logistic 回归、全变量 Logistic 回归及 Lasso 特征选择联合 Logistic 回归筛选俯卧位通气患者面部压力性损伤危险因素并构建预测模型，比较 3 种 Logistic 回归模型的预测效能和临床应用价值来选择最优模型。逐步、全变量 Logistic 回归模型和 Lasso-Logistic 回归模型均具有较高的灵敏度，但 Lasso-Logistic 回归模型特异度明显高于其他两种 Logistic 回归模型；Lasso-Logistic 模型预测值与实际观测值的拟合效果明显优于逐步及全变量 Logistic 回归模型，说明该模型预测效能优于其他 2 种 Logistic 回归模型。临床应用价值方面，逐步与全变量 Logistic 回归模型间的净收益并无明显差异，而 Lasso-Logistic 回归模型具有较高的净收益，临床应用价值明显高于其他 2 种 Logistic 回归模型。综合以上结果说明 Lasso-Logistic 回归模型是预测俯卧位通气患者面部压力性损伤的最优模型，可能是目前较为理想的预测模型建模方法。

本研究基于 Lasso-Logistic 回归模型筛选确定了年龄、糖尿病、单次俯卧位通气时间及 Richmond 躁动镇静评分等俯卧位通气相关面部压力性损伤危险因素。临床护士在评估相关危险因素的基础上应用该模型可预测面部压力性损伤风险，筛选识别高风险患者。另一方面，本研究结果为改进俯卧位通气策略、减少俯卧位通气相关并发症提供理论与决策依据，从而有利于减少俯卧位通气患者面部压力性损伤的发生。但本研究仍存在一些不足，如本研究为单中心研究，样本量较少；在单因素分析中对潮湿、水肿等局部因素关注不足等。因此需要增加样本量，纳入更多潜在变量以期更为全面地探讨俯卧位通气患者面部压力性损伤危险因素并为临床护理人员提供预测精度及应用价值较高的风险预测工具。

年龄、糖尿病、单次俯卧位通气时间和 Richmond 躁动镇静评分是俯卧位通气相关面部压力性损伤的关键危险因素；Lasso-Logistic 回归模型预测效能和临床应用价值优于逐步 Logistic 回归模型和全变量 Logistic 回归模型，是面部压力性损伤预测模型的最佳建模方法。

作者贡献：袁媛负责设计研究方案、论文起草、数据收集；张亚荣负责数据收集；李振刚负责数据收集、统计学分析；张莉负责研究思路、研究命题的提出及设计。

本文无利益冲突。

参考文献

[1] MEYER N J，GATTINONI L，CALFEE C S. Acute respiratory distress syndrome [J]. Lancet，2021，398（10300）：622-637. DOI：10.1016/S0140-6736（21）00439-6.

[2] GATTINONI L，BUSANA M，GIOSA L，et al. Prone positioning in acute respiratory distress syndrome [J]. Semin Respir Crit Care Med，2019，40（1）：94-100. DOI：10.1055/s-0039-1685180.

[3] CHUA E X，ZAHIR S M I S M，NG K T，et al. Effect of prone

versus supine position in COVID-19 patients: a systematic review and meta-analysis [J]. J Clin Anesth, 2021, 74: 110406. DOI: 10.1016/j.jclinane.2021.110406.

[4] SHEARER S C, PARSA K M, NEWARK A, et al. Facial pressure injuries from prone positioning in the COVID-19 era [J]. Laryngoscope, 2021, 131 (7): E2139-2142. DOI: 10.1002/lary.29374.

[5] LUCCHINI A, BAMBI S, MATTIUSSI E, et al. Prone position in acute respiratory distress syndrome patients: a retrospective analysis of complications [J]. Dimens Crit Care Nurs, 2020, 39 (1): 39-46. DOI: 10.1097/DCC.0000000000000393.

[6] EDSBERG L E, BLACK J M, GOLDBERG M, et al. Revised national pressure ulcer advisory panel pressure injury staging system: revised pressure injury staging system [J]. J Wound Ostomy Continence Nurs, 2016, 43 (6): 585-597. DOI: 10.1097/WON.0000000000000281.

[7] IBARRA G, RIVERA A, FERNANDEZ-IBARBURU B, et al. Prone position pressure sores in the COVID-19 pandemic: the Madrid experience[J]. J Plast Reconstr Aesthet Surg, 2021, 74(9): 2141-2148. DOI: 10.1016/j.bjps.2020.12.057.

[8] DANG W, LIU Y, ZHOU Q, et al. Risk factors of medical device-related pressure injury in intensive care units [J]. J Clin Nurs, 2022, 31 (9/10): 1174-1183. DOI: 10.1111/jocn.15974.

[9] BEECKMAN D, VAN LANCKER A, VAN HECKE A, et al. A systematic review and meta-analysis of incontinence-associated dermatitis, incontinence, and moisture as risk factors for pressure ulcer development [J]. Res Nurs Health, 2014, 37 (3): 204-218. DOI: 10.1002/nur.21593.

[10] KIM S H, NAH H S, KIM J B, et al. Relationships between oral-mucosal pressure ulcers, mechanical conditions, and individual susceptibility in intubated patients under intensive care: a PCR-based observational study [J]. Biol Res Nurs, 2021, 23 (4): 557-567. DOI: 10.1177/1099800421998071.

[11] FRALICK M, COLACCI M, MUNSHI L, et al. Prone positioning of patients with moderate hypoxaemia due to covid-19: multicentre pragmatic randomised trial (COVID-PRONE) [J]. BMJ, 2022, 376: e068585. DOI: 10.1136/bmj-2021-068585.

[12] GIANI M, MARTUCCI G, MADOTTO F, et al. Prone positioning during venovenous extracorporeal membrane oxygenation in acute respiratory distress syndrome. A multicenter cohort study and propensity-matched analysis [J]. Ann Am Thorac Soc, 2021, 18 (3): 495-501. DOI: 10.1513/AnnalsATS.202006-625OC.

[13] PACHÁ H H P, FARIA J I L, OLIVEIRA K A, et al. Pressure Ulcer in Intensive Care Units: a case-control study [J]. Rev Bras Enferm, 2018, 71 (6): 3027-3034. DOI: 10.1590/0034-7167-2017-0950.

[14] WEI R, CHEN H L, ZHA M L, et al. Diabetes and pressure ulcer risk in hip fracture patients: a meta-analysis [J]. J Wound Care, 2017, 26 (9): 519-527. DOI: 10.12968/jowc.2017.26.9.519.

[15] LIU P, HE W, CHEN H L. Diabetes mellitus as a risk factor for surgery-related pressure ulcers: a meta-analysis [J]. J Wound Ostomy Continence Nurs, 2012, 39 (5): 495-499. DOI: 10.1097/WON.0b013e318265222a.

[16] FOUCHARD M, MISERY L, GARREC R L, et al. Alteration of pressure-induced vasodilation in aging and diabetes, a neuro-vascular damage [J]. Front Physiol, 2019, 10: 862. DOI: 10.3389/fphys.2019.00862.

[17] KOO M, SIM Y, KANG I. Risk factors of medical device-related pressure ulcer in intensive care units [J]. J Korean Acad Nurs, 2019, 49 (1): 36. DOI: 10.4040/jkan.2019.49.1.36.

[18] BOSELLI E, FATAH A, LEDOCHOWSKI S, et al. ANI and BIS variations in supine and prone position during closed-tracheal suction in sedated and myorelaxed ICU patients with severe COVID-19: a retrospective study [J]. J Clin Monit Comput, 2021, 35 (6): 1403-1409. DOI: 10.1007/s10877-020-00612-w.

[19] DHANDAPANI M, DHANDAPANI S, AGARWAL M, et al. Pressure ulcer in patients with severe traumatic brain injury: significant factors and association with neurological outcome [J]. J Clin Nurs, 2014, 23 (7/8): 1114-1119. DOI: 10.1111/jocn.12396.

[20] WU L, ZHOU B, LIU D H, et al. LASSO regression-based diagnosis of acute ST-segment elevation myocardial infarction (STEMI) on electrocardiogram (ECG) [J]. J Clin Med, 2022, 11 (18): 5408. DOI: 10.3390/jcm11185408.

[21] CHENG S J, WU D F, LI J, et al. Risk factors for the critical illness in SARS-CoV-2 infection: a multicenter retrospective cohort study [J]. Respir Res, 2020, 21 (1): 277. DOI: 10.1186/s12931-020-01492-z.

[22] CHAPELET A, FOUCHER Y, GÉRARD N, et al. An early increase in endothelial protein C receptor is associated with excess mortality in pneumococcal pneumonia with septic shock in the ICU [J]. Crit Care, 2018, 22 (1): 251. DOI: 10.1186/s13054-018-2179-6.

[23] 金珊珊，俞戈，谢晖，等. 基于 LASSO 回归的重症急性胰腺炎患者肺炎克雷伯杆菌感染风险预测模型建立 [J]. 中华胰腺病杂志，2023，23 (1)：20-27. DOI：10.3760/cma.j.cn115667-20221010-00154.

[24] 秦瑶，韩红娟，陈杜荣，等. 基于 LASSO logistic 回归模型的轻度认知障碍逆转预测模型 [J]. 中国卫生统计，2022，39 (5)：653-658. DOI：10.3969/j.issn.1002-3674.2022.05.003.

[25] 黄娅，李运明，雷丽. Lasso Logistic 回归模型识别脂肪肝风险因素效果研究 [J]. 甘肃科学学报，2021，33 (4)：45-51. DOI：10.16468/j.cnki.issn1004-0366.2021.04.008.

（收稿日期：2023-04-15；修回日期：2023-07-12）

（本文编辑：崔莎）